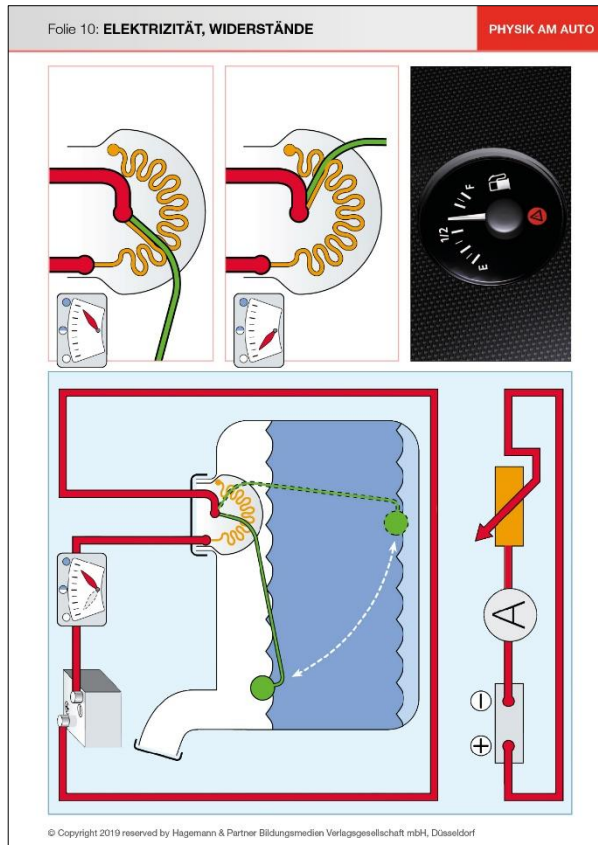


## Temperaturabhängigkeit und Reihenschaltung



## Einsatz der Folie

Die Folie kann eingesetzt werden, wenn die **Elektrizitätslehre** durchgängig behandelt wird. In den Curricula für die Sekundarstufe I ist die Elektrizitätslehre in den Klassen 7 bis 10 vorgesehen und wird meist in zwei Teilen (E-Lehre I und E-Lehre II) unterrichtet. Eine Wiederholungsphase ist vor der Elektrizitätslehre II in der Regel nicht zu vermeiden. Das auf **Folie 10** angesprochene Thema eignet sich auch gut, um zu diesem Zeitpunkt einfache Schaltungen der jetzt neuen Reihenschaltung kennenzulernen. Ferner wird der Begriff "elektrischer Widerstand" so ausführlich präsentiert, dass sich die Folie auch gut zur Wiederholung und Vertiefung eignet.

## Inhalt

Die Folie erklärt eine **Tankanzeige**. Bei dieser wird die Anzeige des noch vorhandenen Kraftstoffs durch einen in Reihe mit dem Anzeigeelement geschalteten veränderbaren Widerstand bewirkt. Je nach elektrischem Widerstandswert dieses Vorwiderstands fließt ein verschieden großer Strom durch das Instrument. Die Skala des Messwerks ist in eine Mengenangabe umgekehrt, sodass nicht Stromstärken, sondern Kraftstoffmengen angezeigt werden.

**Anmerkung:** Um das Verständnis nicht unnötig zu erschweren, wurde auf den in der Praxis zusätzlich eingesetzten „Spannungskonstanthalter“ verzichtet. Dieser gewährleistet auch bei schwankenden Spannungen im Bordnetz eine korrekte Anzeige.

**Oben links:** Die Abbildung zeigt, wie der Widerstandswert geändert wird. An dem vereinfachten dargestellten Kraftstofftank ist oben ein Einsatz mit einer Isolierstoffplatte angebracht. Auf dieser befindet sich

eine **Drahtwicklung** in Form eines Kreisbahnstückes, der ein Schleifer folgen kann. Dieser Schleifer ist über einen Hebelarm mit einem Schwimmer verbunden. Das Ganze ist quasi ein **überdimensionales Draht-Potentiometer**, dessen Widerstandswert durch Verdrehung der Achse verändert wird. Je nach Tankinhalt schwimmt der Schwimmer verschieden hoch auf und verdreht die Achse.

**Oben rechts:** Bei vollem Tank dreht sich daher der Hebelarm mit dem Schwimmer (= Achse des Potentiometers) im Uhrzeigersinn nach rechts. Jetzt wird eine geringere Länge des Widerstandsdrahtes tatsächlich vom Strom durchflossen. Dies bedeutet einen kleinen elektrischen Widerstand des Potentiometers; entsprechend fließt durch die Reihenschaltung von Potentiometer und Anzeige-Messwerk ein größerer Strom. Der Zeiger schlägt also weiter aus, die Anzeige signalisiert „Tank voll“. Nimmt die Kraftstoffmenge im Tank ab, sinkt der Schwimmer in Analogie dazu nach unten. Dabei dreht sich der Schwimmerarm entgegen dem Uhrzeigersinn nach links. Die tatsächlich vom Strom durchflossene Drahtlänge nimmt kontinuierlich zu. Der Widerstandswert des Potentiometers wächst und die Stromstärke durch die Reihenschaltung nimmt ab. Infolgedessen geht die Anzeige des Messwerks nach und nach zurück.

**Rechts Mitte:** Bei nahezu leerem Tank wird die maximale Drahtlänge vom Strom durchflossen. Der Zeiger der Tankanzeige steht dann im Linksanschlag auf „Reserve“ oder „0“, je nach Beschriftung der Skala.

**Unten links:** Die Farben des zu der Schaltung gehörenden Schaltbilds entsprechen der Farbgebung der anderen Bilder dieser Folie.

**Unten rechts:** Das Foto einer originalen Tankanzeige dient als Impuls für das Thema. Wenn bei Werkstattkontakten Teile einer noch funktionierenden Tankanzeige (sowohl die Gebereinheit aus dem Tank als auch das zugehörige Anzeigewerk) aus Altfahrzeugen zu bekommen sind, lassen sich diese im Unterricht gut zu Demonstrationsversuchen einsetzen.

**Anmerkung:** Heute wird statt des drehbaren Schwimmers meistens ein Schwimmerrohr eingesetzt, dessen Schwimmer-Höhenstand einen elektrischen Widerstand verändert.

## Kopiervorlage

Die Kopiervorlage bringt zunächst zwei Beispiele für **Reihenschaltkreise mit veränderbaren Widerständen**. Dabei werden den Schülern der NTC-Widerstand und der PTC-Widerstand in ihrem Einsatz am Kraftfahrzeug vorgestellt. Das erste Beispiel bringt neben einer allgemeinen Information über veränderbare Widerstände als Messwertgeber einen **NTC-Fühler** für den Kraftfahrzeugeinsatz (Schaltbild vgl. Folie 8). Eine zugehörige leichte Aufgabe vertieft das Verständnis: Die Schüler sollen die Widerstandskennlinie eines NTC-Widerstands aufgrund der angegebenen Daten aufzeichnen. Das zweite Beispiel zeigt den Schülern die Verwendung eines **PTC-Widerstands** beim Dieselmotor. Das dritte Beispiel bringt zusätzlich einen verzweigten Schaltkreis ins Spiel.

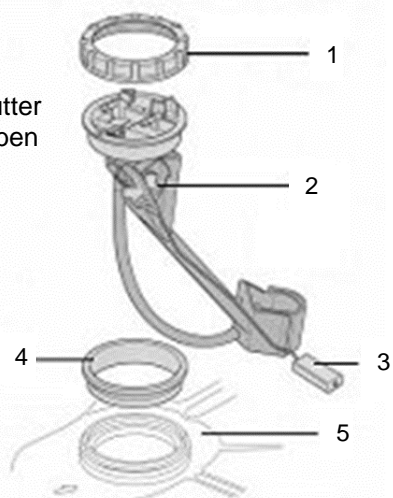
Als veränderbarer Widerstand wird hier ein vom Fahrer einstellbares Potentiometer benutzt, mit dem der Fahrer die Helligkeit der Instrumentenbeleuchtung wunschgemäß wählen kann (siehe Schaltbild auf der Kopiervorlage).

**Lernziele:** Die Schüler sollen

- Bauteile, deren elektrischer Widerstand temperaturabhängig ist, nennen sowie ihr Verhalten, Bauform und den Einsatz am Kfz beschreiben können.
- gelerntes Wissen aus dem Unterricht der Elektrophysik bei Sachaufgaben aus der Praxis korrekt anwenden können (Analyse von Schaltungen, richtiger Formeleinsatz).

**Weitere Beispiele für Widerstände im Kraftfahrzeug**

Das Kapitel „Temperaturabhängigkeit und Reihenschaltung“ zeigt eine vereinfachte Prinzipskizze eines Tankgebers. Die Abbildung verdeutlicht, wie ein solches Bauteil in der Praxis aussieht. Der Geber ist unsichtbar im Inneren des Tanks eingebaut. Am unteren Teil der Abbildung ist die Einbaulage erkennbar, da die Verschraubung mit dem Tank und ein Stück der oberen Tankfläche zu sehen sind.

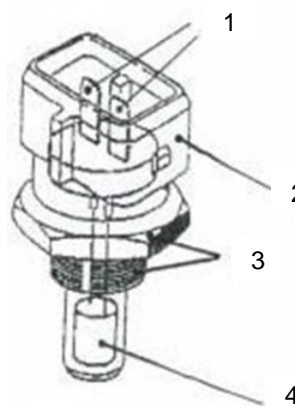


- 1. Befestigungsmutter
- 2. Widerstandskolben
- 3. Schwimmer
- 4. Dichtung
- 5. Tank

Veränderbare Widerstände werden in der Technik sehr gerne eingesetzt, um sich ändernde Messwerte in zugehörige Spannungswerte zu übertragen. Diese Spannungen werden manchmal lediglich zu einer direkten Anzeige der Messgröße genutzt. Sie können aber auch als Eingangssignal für eine elektrische oder elektronische Regelung dienen. Dabei wird bei einigen Fahrzeugelektroniken eine Wandlung des vom Widerstand kommenden analogen Spannungswertes in ein digitales Signal für die Motorelektronik vorgenommen.

Schon lange ist die Erfassung von Temperaturwerten mithilfe von Fühlern, die im Inneren einen NTC-Widerstand tragen, üblich. Ein solcher NTC-Widerstand wird aus Materialien hergestellt, die ähnlich auch für die Produktion von Halbleitern verwendet werden.

Sein Widerstandswert ist bei niedriger Temperatur hoch und wird mit wachsender Temperatur immer kleiner. (Eine Aufgabe zur Vertiefung findet sich auf der Kopiervorlage.)



- 1. elektrische Anschlüsse
- 2. Gehäuse
- 3. Sechskant und Gewinde zum Einschrauben
- 4. eigentlicher NTC-Widerstand

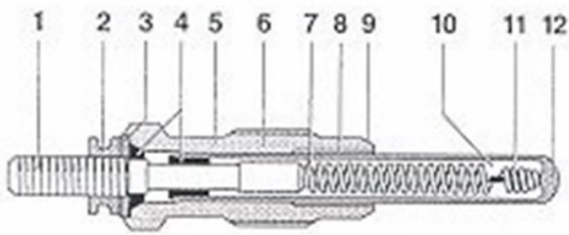
Verwendet man bei der gleichen Grundschialtung, wie sie auf Folie 8 mit dem Tankgeber vorgestellt wird, statt des Tankgeberpotentials einen NTC-Widerstand, so fließt durch den Stromkreis ein Strom, der von dem aktuellen Widerstandswert des NTC-Widerstands abhängt. Dies bedeutet einen niedrigen Stromfluss bei kaltem Widerstand (elektrischer Widerstand ist noch groß) und einen immer größer werdenden Stromfluss bei wachsender Temperatur (Widerstand nimmt ab). Eicht man das Anzeigeelement gleich in Temperaturwerten statt in Stromstärkeangaben, lässt sich die Temperatur von Kühlwasser, Motoröl u.v.m. mit dieser Technik gut aus der Ferne überwachen.

Ein Bauteil mit genau entgegengesetzter Widerstandscharakteristik ist der PTC-Widerstand. In der Fahrzeugelektronik kommen auch Messfühler auf Halbleiterbasis mit einem solchen Verhalten zum Einsatz. Die Signalverwertung muss dieser Charakteristik entsprechend erfolgen. Schon lange vor diesen Halbleitern ist aber ein anderer typischer Vertreter eines Widerstands mit PTC-Charakteristik im Fahrzeugbau im Einsatz. Es handelt sich dabei um die Regelwendel im Inneren einer Diesel-Glühkerze (Der Einsatz einer solchen Glühkerze ist beim Kaltstart erforderlich). Die Regelwendel ist im Inneren der Glühkerze in Reihe mit der eigentlichen Heizwendel geschaltet.

**Funktion**

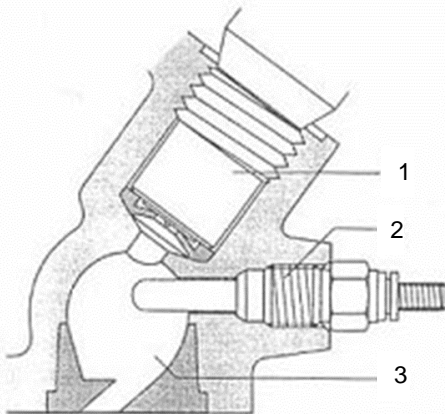
Der Widerstand der Regelwendel ist bei niedriger Temperatur klein. Mit wachsender Temperatur steigt ihr elektrischer Widerstand an. Daher fließt beim Vorglühen zunächst ein hoher Strom durch die beiden in Reihe geschalteten Wendeln, anschließend geht dieser aber mit zunehmender Erwärmung der Regelwendel zurück. Man erreicht dadurch eine schnelle Erhitzung der Glühkerze, weil die Heizwendel entsprechend kräftig ausgelegt ist; andererseits verhindert man eine zu große thermische Belastung bei längerem Vorglühen, da die Stromstärke durch die Regelwendel reduziert wird. Auch zu diesem Thema befindet sich eine Aufgabe auf der Kopiervorlage zum Thema "Temperaturabhängigkeit und Reihenschaltung".

Einen Schnitt durch eine solche Glühkerze zeigt die folgende Skizze.



- |                      |                   |
|----------------------|-------------------|
| 1. Anschlussbolzen   | 7. Regelwendel    |
| 2. Rundmutter        | 8. Ringspalt      |
| 3. Isolierscheibe    | 9. Regeldichtsitz |
| 4. Abdichtung        | 10. Isolierpulver |
| 5. Kerzengehäuse     | 11. Heizwendel    |
| 6. Einschraubgewinde | 12. Glühröhr      |

Die Einbaulage der Glühkerze in einem herkömmlichen Dieselmotor mit Wirbelkammer zeigt die folgende Skizze. (Bei einem direkteinspritzenden Dieselmotor würde die Spitze der Kerze in die Verbrennungsmulde im Kolbenboden ragen.)



1. Einspritzdüse 2. Glühkerze 3. Wirbelkammer

Das untenstehende Bild zeigt den skizzierten **Einsatz der Glühkerze** in einem Echtfoto. Gut zu erkennen ist, dass der Sprühstrahl der Einspritzdüse genau auf die glühende Spitze der Glühkerze zielt. Die Aufgabe dieser hell aufglühenden Spitze als Zündhilfe beim kalten Motor wird sofort verständlich.



**Sensoren**

Das Thema "Sensoren" sprengt den Rahmen des Stoffbereiches für die Sekundarstufe I und wird daher z. B. für interessierte AGs oder für Referate empfohlen. Dazu erfolgt nun ein Überblick über Sensoren im Automobilbau. Weitere Informationen zum Thema Sensoren und zu den aufgeführten speziellen Begriffen sind u. a. in der unten angegebenen Fachliteratur zu finden. Es ginge zu weit, an dieser Stelle weitere Details zu bringen.

**Was ist ein Sensor?**

Ein Sensor setzt eine physikalische oder chemische Größe F, die meist selbst noch keine elektrische Größe ist, in eine elektrische Größe E um, wobei er u. U. mehrere Störgrößen Y1, Y2, Y3 ... berücksichtigt:

$$E = f(F, Y1, Y2, Y3 \dots)$$

Diese Umsetzung kann auch über weitere nicht-elektrische Zwischenstufen geschehen. Als elektrische Größe E werden nicht nur die üblichen Größen Strom oder Spannung akzeptiert, sondern im Hinblick auf die digitale Weiterverarbeitung der Signale im Fahrzeug auch

- Strom- und Spannungsamplituden
- Frequenz
- Periode
- Phase und Pulsdauer einer elektrischen Schwingung
- Widerstand
- Kapazität
- Induktivität

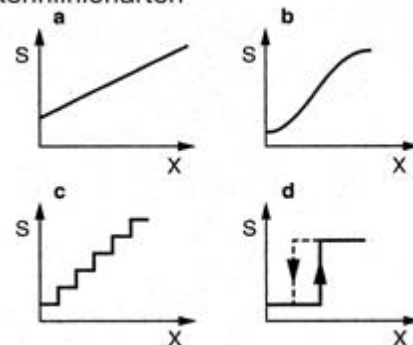
**Unterscheidung nach Einsatzzweck:**

- Funktionelle Sensoren (Steuerungs- und Regelungsaufgaben)
- Sicherheitssensoren (Fahrzeugsicherheit und Diebstahlschutz)
- Überwachungssensoren (Überwachung von Verbrauchs- und Verschleißgrößen; Fahrer- und Beifahrerinformation)

**Unterscheidung nach Kennlinienart:**

- Stetig lineare Kennlinie
- Stetig nicht-lineare Kennlinie
- Unstetig zweistufige Kennlinie (mit und ohne Hysterese)
- Unstetig mehrstufige Kennlinie

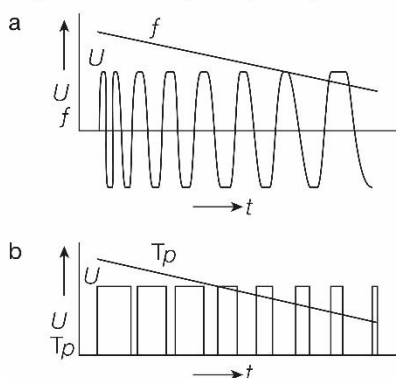
**Kennlinienarten**



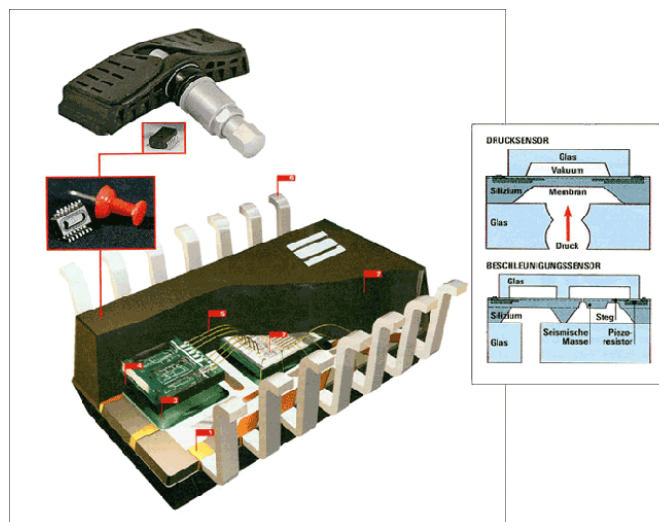
**Unterscheidungen nach Ausgangssignal:**

- Ausgangssignal ist analog (etwa zu einem Strom oder einer Spannung, zu einer Frequenz oder zu einer Pulsdauer)
- Ausgangssignal ist diskret, z. B.
  - zweistufig (binär codiert)
  - mehrstufig ungleich gestuft (analog codiert)
  - mehrstufig äquidistant (in gleichen Abständen) gestuft; analog oder digital codiert)
- Abgabe des Ausgangssignals
  - ständig
  - nur zu bestimmten Zeitpunkten

**Signalformen (Beispiele)**



- "Kompass-Sensoren" (Erdfeldsonden); verwendet beim Navigationssystem
- d) Wellenausbreitungs-Sensoren
  - Akustische Sensoren (Ultraschall); für Abstandsmessungen zu Hindernissen und vorausfahrenden Fahrzeugen
  - Elektromagnetische Sensoren (RADAR); für Abstandsmessungen vorzugsweise zu vorausfahrenden Fahrzeugen (sogar mehreren!)



**Unterscheidungen nach Art der Messgröße**

**1. Positionssensoren (Messgröße: Weg oder Winkel):**

**Messprinzipien:**

- a) mittels Potentiometer - herkömmliches Prinzip; vergleiche etwa "Elektrizität/Widerstand" mit dem Beispiel des "klassischen" Tankgebers; weitere "klassische" Beispiele: Stauscheiben- Potentiometer bei der KE- und L-Jetronic (Bosch), Drosselklappenwinkel-Sensor bei der M-Motronic (Bosch), Fahrpedalsensor (bei Systemen ohne herkömmliche direkte mechanische Kopplung von Fahrpedal zum Motor)
- b) magnetisch induktive Sensoren
  - Wirbelstromsensoren
  - Kurzschlussringsensoren
  - Tauchankersensoren
- c) magnetostatische Sensoren
  - Galvanomagnetische Sensoren
    - Hall-Schalter
    - Spinning-Current-Sensoren
    - Differenzial-Hall-Sensoren
    - Hall-Winkel-Sensor ("Movable Magnet")
      - bis 180 Grad
      - über 180 Grad (anderer Aufbau)
  - Feldplatten-Differenzial-Sensoren; Anwendung auch bei der Drehzahlmessung
  - Magnetoresistive Ni-Fe-Dünnschichtsensoren; AMR-Prinzip = Anisotrop Magneto Resistive; Anwendung: sehr genaue Lenkwinkelerfassung
  - Magnetoresistive Sensoren in Nanotechnologie; GMR-Prinzip = Giant Magneto Resistive; Eindeutige Winkelmessung auch über 360 Grad

**2. Drehzahl- und Geschwindigkeitssensoren (Messgröße: Winkel bzw. Weg/Zeit)**

**Messprinzipien:**

- a) herkömmliche Sensoren: magn. Induktion (vergleiche 1.b); keine weitere Elektronik im Sensor erforderlich; z. B.: induktive Drehzahlsensoren an der Kurbelwelle oder an der Nockenwelle), induktiver Raddrehzahlsensor, Nadelbewegungssensor (Diseleinspritzdüse)
- b) modernere Sensoren: Magnetostatik (vergleiche 1.c); mit elektronischer Verstärkung oder Aufbereitung im Sensor;
  - Hall-Effekt
  - "Gradienten-Sensoren"
    - Differenzial-Hall-Sensoren
    - Differenzial-Feldplatten-Sensoren
  - Tangential-Sensoren
  - "Giant magnetoresistive Elemente" (= GMR-Elemente)
- c) Ausnutzung der Corioliskraft bzw. Coriolisbeschleunigung zusammen mit dem Piezoeffekt bei Schwingungsgyrometern; verwendet bei Fahrzeug-Navigationssystemen
- d) Ausnutzung des Doppler-Effekts bei speziellen Radar-Sensoren für die Messung langsamer Fahrgeschwindigkeiten bei Ackerschleppern

**3. Beschleunigungs- und Vibrationssensoren (Messgröße: Beschleunigung)**

**Messprinzipien:**

- a) Messung eines Weges
  - rein "ausschlagmessend"
  - "lagegeregelte Systeme"
- b) Messung einer Spannung mittels Piezoeffekt; z. B. Hall-; Beschleunigungs-; Klopfensensoren

**4. Drucksensoren (Messgröße: Drücke aller Art)**

Messprinzipien:

- a) Direkte Druckmessung
- b) Einsatz einer Membran als mechanische Zwischenstufe
  - mit Dehnwiderständen
  - mit DMS-Abgriff (Dehn-Mess-Streifen)
  - mit kapazitivem Abgriff

**5. Kraft- bzw. Drehmomentsensoren (Messgröße: meistens Kraft, speziell auch berührungslose Messung von Drehmomenten)**

Messprinzipien:

- a) bei Kraftsensoren:
  - "Magnetoelastisches Prinzip"
  - DMS-Prinzip (Dehnwiderstände) (vergleiche 4.b)
  - Prinzip der "orthogonal gedrückten Widerstände" z.B. "Sitzmattensensor" bzw. "Platzbelegungssensor" (wichtig für Nichtauslösung des Airbags bei freiem Beifahrersitz oder die Erkennung eines dort vorhandenen Kindersitzes); magnetoelastischer Bremskraftsensor
- b) bei Drehmomentsensoren:
  - Messung einer Spannung mit DMS-Prinzip
  - Messung eines Winkels:
    - Winkeldifferenzmessende Sensoren
    - Wirbelstromsensoren

**6. Durchflussmesser für Kraftstoff bzw. Luft (Messgröße: "Menge" (= Volumen oder Masse))**

(Hinweis: Die Produktion von Durchflussmessern für Kraftstoff ist ausgelaufen.)

Messprinzipien:

- a) Staudruckprinzip - Feste Messblenden in Ring- oder Scheibenform oder variabel ("Stauklappen"); zusätzlich genutzt: Potentiometerprinzip, z.B. Stauklappenluftmengenmesser LMM" (Bosch)
- b) "Hitzdraht/Heißfilm-Anemometer"; z.B. "Hitzdrahtluftmassenmesser HLM" und "Heißfilmluftmassenmesser HMF5" (Bosch)

**7. Gassensoren, Konzentrationssensoren**

Messgrößen: verschiedenster Art, so zum Beispiel:

- Sauerstoffgehalt im Abgas (Lambdasonden); Verbrennungsregelung; Katalysatorüberwachung
- Kohlenmonoxid- und Stickoxydgehalt sowie Luftfeuchte im Innenraum (Luftgüte; Beschlagen der Fenster)
- Feuchte der Außenluft (Glatteiswarner)
- Rußkonzentration im Dieselaabgas (noch nicht serienreif)
- Luftfeuchte im Druckluftbremssystem (LKW)

Messprinzipien: bei Lambdasonden:

- a) Zweipunkt-Lambdasonden:
  - Fingersonden
    - unbeheizte Fingersonde
    - beheizte Fingersonde
  - Planare Lambdasonden; Prinzip: "galvanische Sauerstoffkonzentrationszelle mit Festkörperelektrolyt"
- b) Planare "Breitband-Lambdasonde"

**8. Temperatursensoren (Messgröße: Temperatur)**

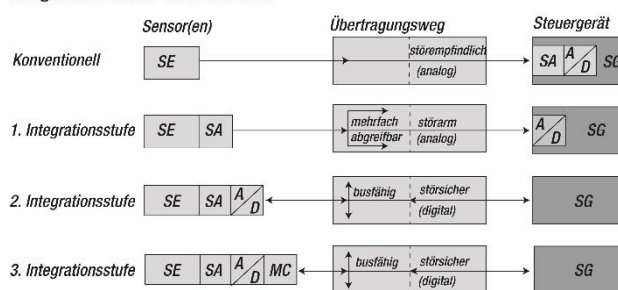
Messprinzipien:

- a) Messung mit Berührung des Objekts: Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands (PTC- und NTC-Widerstände)
- b) berührungslose Messung: Strahlungsmessung; Beispiele: Sensoren für Motortemperatur, Öltemperatur, Ansauglufttemperatur, Kraftstofftemperatur beim Diesel; Sensor zur Innenraumtemperaturregelung; Abgashochtemperatur-Sensor

**Integrationsstufen (gilt für sämtliche Sensortypen):**

Je nach dem gesamten Fahrzeugkonzept können innerhalb des - äußerlich als Baugruppe erkennbaren - "Sensors" dem eigentlichen Sensorteil weitere Stufen folgen. Diese können der Signalaufbereitung, der Analog-Digital-Wandlung sowie der Selbstkalibrierung dienen; es kann sogar ein Mikrocomputer gleich mit eingebaut sein.

Integrationsstufen von Sensoren



**Literatur**

- "Sensoren im Kraftfahrzeug", Gelbe Reihe der Robert Bosch GmbH, Ausgabe 2001, umfassender Überblick über den Stand der Sensorentechnik im Herausgabejahr auf 148 DIN A4-Seiten
- "Sensorsysteme für das Auto", Band 175 aus der Reihe "Die Bibliothek der Technik", Verlag "moderne industrie", Landsberg/Lech, 1998, informativer Überblick in einem handlichen Bändchen von 70 Seiten